Current Issue Review

83-14E

# NUCLEAR POWER SYSTEMS: THEIR SAFETY

Lynne C. Myers
Science and Technology Division

20 October 1983
*Revised 10 September 1990*

Library of Parliament
Bibliothèque du Parlement

Research Branch

91-04868/

The Research Branch of the Library of Parliament works exclusively for Parliament, conducting research and providing information for Committees and Members of the Senate and the House of Commons. This service is extended without partisan bias in such forms as Reports, Background Papers and Issue Reviews. Research Officers in the Branch are also available for personal consultation in their respective fields of expertise.

© Minister of Supply and Services Canada 1991
Cat. No. YM32-1/83-14-1990-09E
ISBN 0-660-13861-1

N.B. Any substantive changes in this publication which have been made since the preceding issue are indicated in **bold print.**

CE DOCUMENT EST AUSSI
PUBLIÉ EN FRANÇAIS

CANADA

LIBRARY OF PARLIAMENT
BIBLIOTHÈQUE DU PARLEMENT

# NUCLEAR POWER SYSTEMS: THEIR SAFETY

## ISSUE DEFINITION

Mankind utilizes energy in many forms and from a variety of sources. Canada is one of a growing number of countries which have chosen to embrace nuclear-electric generation as a component of their energy systems. As of June 1989 there were 433 power reactors operating in 25 countries and accounting for more than 15% of the world's production of electricity. In 1988, twelve countries derived at least 25% of their electricity from nuclear units, with France leading at nearly 70%. In the same year, Canada produced 16% of its electricity from nuclear units. Some 109 power reactors are under construction in 20 countries, enough to expand present generating capacity by 29%. No human endeavour carries the guarantee of perfect safety and the question of whether or not nuclear-electric generation represents an "acceptable" risk to society has long been vigorously debated.

Until the events of late April 1986, nuclear safety had indeed been an issue for discussion, for some concern, but not for alarm. The accident at the Chernobyl reactor in the USSR has irrevocably changed all that. This disaster brought the matter of nuclear safety back into the public mind in a dramatic fashion. This paper discusses the issue of safety in complex energy systems and provides brief accounts of some of the most serious reactor accidents which have occurred to date.

LIBRARY OF PARLIAMENT
BIBLIOTHÈQUE DU PARLEMENT



BACKGROUND AND ANALYSIS

A. Safety in Complex Energy Systems

Assessing how complex systems fail is a complicated matter and recent reactor accidents have demonstrated that this assessment is less certain than formerly supposed. Not only may complex systems incorporate errors in design, contributing to safety problems, but they may also suffer from improper construction, quality assurance, maintenance and operation.

The reactor accident of March 1979 at the Three Mile Island generating station in Pennsylvania illustrates how mechanical problems can be compounded by operator error, emphasizing the importance of human reliability as well as equipment reliability in ensuring safety. Indeed, the Report of the President's Commission on the Accident at Three Mile Island (the "Kemeny Report") had more to say about the people involved in reactor safety -- the equipment manufacturers, the utility managers, the plant operators and the staff of the U.S. Nuclear Regulatory Commission (NRC) -- than it did about improving the technology.

Accidents may also occur because supposedly independent and redundant systems fail simultaneously due to a common initiating event. For example, identical valves in independent units have failed simultaneously in response to a common set of conditions because they were not designed or installed properly. Improper maintenance may also cause a common failure, perhaps because each of the independent units has been improperly calibrated or serviced. A totally unexpected failure may also occur because the sheer complexity of the system has prevented all potential accidents from being identified.

The Salem-1 reactor in New Jersey provides an example of an unanticipated failure. When a routine anomaly or "transient" occurs during reactor operation, a safety system is supposed automatically to shut down or "scram" the reactor by stopping the nuclear chain reaction. A failure of the safety system to so operate -- termed an Anticipated Transient Without Scram (ATWS) -- was supposed to have such a low probability of occurrence that the risk it represented was considered negligible. The U.S. nuclear industry argued that ATWS regulations and protective measures

were unwarranted on the grounds that the basic safety systems were virtually fail-safe, and an expert on reactor safety could write in 1980: "No reactor has ever failed to 'scram' in an emergency."(1) Yet twice within four days, in February of 1983, just such an event occurred at Salem-1. Operators manually scrammed the reactor in both cases, preventing damage to it, but the incidents demonstrated that a breakdown in electronic safety systems was not as implausible as the industry had maintained.

The subsequent investigation of the Salem-1 incident by the U.S. NRC determined that a critical component, designed to drop the reactor shut-off rods automatically, had failed in both circuits of a doubly redundant system. This component, which should have received twice-yearly maintenance, had not been maintained at all during its years of service in the station and "dirt accumulation on exposed linkages" was described by the NRC as one of the causes of failure.

The Chernobyl accident, the worst-ever accident involving nuclear reactors, resulted from an incredible series of "human" errors. It is interesting to note, however, that an article in a Kiev newspaper, a month before the accident, had criticized acute shortcomings in materials, shoddy workmanship and low morale at the plant.

This accident has sparked an unprecedented interest in the question of nuclear safety and as a direct result the IAEA has presented two new international conventions. Canada has signed both of them; the first deals with early notification to other countries about nuclear accidents and the second involves an undertaking to help other countries which have suffered such an accident. The IAEA has also received proposals involving international regulation of nuclear power.

In the United States the growing number of serious operating mishaps at nuclear power installations led a Commission of that country's Nuclear Regulatory Commission to make the following chilling prediction:

> Given the present level of safety being achieved by the operating nuclear power plants in this country, we can expect to see a core meltdown accident within the next 20 years, and it is possible that such an accident

---

(1) Harold W. Lewis, "The Safety of Fission Reactors", Scientific American, Vol. 242, No.3, March 1980, p. 59.

could result in off-site releases of radiation which are as large as, or larger than, the releases estimated to have occurred at Chernobyl.

In several countries, increased interest in the study of nuclear safety has been evident in light of Three Mile Island and Chernobyl. The United States Nuclear Regulatory Commission issued a Severe Accident Policy Statement in 1985 and has been working on the implementation of the new policy. As part of the new program, all existing plants will be systematically examined for severe accident vulnerability and mitigative measures suggested where necessary. Clearer standards for risk assessment of proposed new nuclear power plants are being developed. In addition, containment performance criteria are being established.

Canada has also carried out a major internal review of its nuclear power plant safety. In addition the Operational Safety Review Team (OSART) of the International Atomic Energy Agency was invited to review operating practices at the Pickering Nuclear Generating Station. Results of both studies indicate that the CANDU reactor is being operated safely in Canada, although minor changes to operating procedures and emergency plans were suggested.

West Germany has carried out a major study of nuclear power plant risks. The study concluded that the consequences of severe accidents at German light-water reactors would be lower than previously estimated, by one to two orders of magnitude. Despite this very reassuring result, the Germans instituted a plan to install a new safety feature on all existing pressurized water reactors over an 18 month period. This feature involves a filtration system which will allow for controlled depressurization of the containment structure. Such a move is designed to prevent the build up of potentially explosive amounts of gas in the containment building during a serious accident, to avoid endangering the public.

Recent reports out of both France and East Germany indicate a growing concern in those countries over the safety of their nuclear power stations. In France, a leaked document prepared by the chief inspector for nuclear safety contradicts official estimates of the probability of serious

accidents such as that at Three-Mile Island. The report, "Nuclear Safety at Electricité de France by the end of 1989," says that earlier predictions that such an accident is only likely to happen once every 100,000 years are "stained with a considerable margin of uncertainty." Given the current state of reactors operating in France the chances of such an accident happening in the next 20 years amount to "several percent." The potential for human error, which was responsible for the Chernobyl disaster, is cited as the main reason for such an alarming risk of a nuclear disaster. The report goes on to cite several previously unreported "near-accidents" at French reactor sites which could have led to large releases of radioactivity if not stopped in time. A second leaked report indicates that Electricité de France has an over-capacity problem in its nuclear program and faces serious economic difficulties. The utility may soon find it necessary to review its nuclear expansion plans in light of these two reports, especially now that they have become public.

In East Germany, a top official in the nuclear power program has stated that he is concerned about the safety standards of his country's aging nuclear reactors and is prepared to shut them down if international experts recommend such action. East and West Germany have set up a joint commission to look at safety standards and the International Atomic Energy Agency has begun inspections of the five East German plants. A recommendation to shut down the plants would be acted upon immediately, even though the country would be hard pressed to replace the power that they generate, according to officials in East Germany.

## B. Inherent Safety vs. Engineered Safety

The safety of most commercial nuclear reactors depends on engineered systems. In the event of an accident, some engineered systems must detect danger and then respond to it in order to shut down the reactor. It is also possible and perhaps, in light of the Chernobyl accident, essential to design reactors that are "inherently" safe. The shut-down of such reactors during an accident would rely solely on the laws of physics and not on engineered systems and operator intervention. In the words of one writer, "The idea behind inherent safety is to replace Murphy's law (if anything can go wrong, it will) with the laws of

physics."(2) Several countries have been developing inherently safe reactors and they will serve as illustrations of the concept.

Sweden has developed a pressurized water reactor it calls PIUS, in which the core cooling system and all heat exchangers are immersed in a solution of boron. Boron is a neutron absorber and quickly damps down the heat-generating chain reaction. During normal operation, the pressure generated by the coolant pump keeps the borated water out of the reactor. If the coolant pumping system fails, the difference in density between the hot water and cold water would immediately cause the reactor to be flooded with borated water, shutting down the chain reaction. No human, mechanical or electrical intervention is required to achieve shut-down. Sweden hopes that it will be ready to start selling PIUS reactors by 1990.

West Germany has a high-temperature, gas-cooled reactor (called the THTR 300) which has round fuel elements the size of tennis balls. These fuel elements are circulated: one drops out of the core every eight seconds and another is put in on top. Because of the size and surface-to-volume ratio of the fuel elements, it is impossible for the core temperature to exceed 1600°C. The designers claim that this reactor could lose all of its coolant (helium gas) without getting hot enough to release fission products.

A number of reactors being developed in the United States - such as General Electric's fast-breeder PRISM reactor, Rockwell's SAFR reactor and the Department of Energy's MHTGR (Modular High-Temperature Gas-cooled Reactor) - also incorporate self-shutdown mechanisms which require no mechanical, electrical or human intervention. Since the accident at Chernobyl, such reactors are much more attractive than they once might have been. **In the U.S., in fact, observers believe that the introduction of such reactors is the only way in which that country will again accept nuclear power as a viable energy supply option.**

---

(2) "Lessons From the Schoolhouse", The Economist, 10 May 1986, p. 92.

C. The Chernobyl Accident

On 26 April 1986, the town of Chernobyl, located 60 miles north of the Ukrainian capital of Kiev, became the site of the most serious accident ever known to have taken place in a nuclear power reactor. A series of human errors, combined with what some western experts believe to be serious design flaws, resulted in a catastrophic explosion and fire involving the core of the reactor itself. The immediate results of the explosion and fire were the death of two people on the site and a very large release of radioactivity. The unprecedented release of dangerous fission products from the reactor core necessitated the evacuation of tens of thousands of people, and contaminated an area of approximately 300 square kilometres of rich farmland. The radiation spread across international boundaries, contaminating food and causing much concern over long term health and environmental effects.

On 25 August 1986 the Soviet Union presented a detailed report on the causes of the Chernobyl disaster at a special meeting of the International Atomic Energy Agency (IAEA) in Vienna. Ironically, the most serious nuclear reactor accident of all time occurred in the course of a safety test. Apparently workers were trying to determine how long the turbine generators would continue to turn due to inertia in the event of an unplanned reactor shutdown. To carry out this experiment, the workers committed no less than six serious errors - including shutting off all the reactor's automatic safety systems so that they would not interfere with the experiment.

The chain of events started on 25 April, when the power level in the reactor was reduced. Because automatic control systems were in place to prevent the reactor's operation at such low levels, the workers shut them off. This removed one of the safety systems designed to prevent the reactor from going out of control. Power levels then dropped too low for the test, and in trying to bring the reactor back up to the required level, technicians committed the second fatal error. Control rods are used to regulate and, as the name implies, control the chain reaction in the reactor. In the light-water-cooled, graphite-moderated (RBMK in Russian terminology) design there must be a minimum of 30 control rods inserted in

the reactor at all times. Technicians at Chernobyl removed all but six to eight of the rods. To compound the problem, a second safety system, which would have automatically shut down the reactor when the turbines stopped, was also disconnected for the test.

The actual test started at 1:23 a.m. on 26 April when power to the turbine was stopped. Just before this was done, the flow of water to cool the reactor was reduced and safety devices that would shut down the reactor in the event of abnormal steam pressure or water levels were disengaged. This latest manoeuvre caused the reactor to start overheating dangerously, but, because the emergency cooling system had been shut down 12 hours before, there was no relief from the heat buildup. Within seconds, a tremendous power surge caused two explosions which blew the roof off the reactor building and ignited over 30 fires around the plant. The damaged reactor core and the surrounding graphite moderator started burning at temperatures up to 1600°C. The fire burned for 12 days, releasing massive amounts of radiation into the atmosphere.

Exactly how much radioactivity was released is not yet known, but there have been numerous estimates. One U.S. estimate holds that at least 40 million curies of radioactivity were released; this compares well with the Soviet estimate of 50 million curies noted in their report to the IAEA. This represents about 3.5% of the radioactivity of the core. (By comparison the Three Mile Island accident in the United States released only 15 curies of Iodine-131.) While it is hard to compare this release with that of Hiroshima or Nagasaki, because the fission products involved are different, one radiation physics expert says that, roughly speaking, the Chernobyl accident released an equivalent of 30 to 40 times the radiation of those atomic bombs.

Much of the radiation fell on the plant site and surrounding towns and farms, but some was carried into several neighbouring countries, including Sweden, Poland, Romania, Switzerland, West Germany and Yugoslavia. In these countries, radiation levels temporarily increased to several times normal levels. In the town of Chernobyl, 12 miles from the site of the accident, a maximum radiation of 15 millirems/hour was

reported. Normal background radiation in most parts of the world is about 0.01 millirems/hour.

In economic terms, the accident has been a disaster for the Soviet Union. In addition to the cost of resettling 135,000 people, it faces the loss of the $1.9 billion plant itself, a cleanup bill in the hundreds of millions of dollars and the loss of 10% of its nuclear generating capacity - which is being replaced with more expensive electricity from coalfired generating stations. This potential loss of electrical production is so serious that in October 1986 Units 1 and 2 at Chernobyl were restarted and Unit 3, which shares a control room and generating equipment with the unit destroyed in the accident, was restarted in the early part of 1988. Western experts are very concerned about these moves but the shortage of electricity is reportedly so severe that the Soviets feel they have no choice. On top of these costs comes the cost of improving safety standards for all RBMK reactors in the country, including an increased number of absorbers, higher enrichment of fuel, control rod modifications and improvements in the protection against human error in the early stages of an accident (i.e. more automation).

The Soviet Union also faces the loss of agricultural produce and, potentially, of much valuable farmland. For example a neighbouring republic, Byelorussia, has lost 20% of its farmland as a result of the disaster. One American study done soon after the accident put its total cost to the Soviet economy at $3.7 to $6 billion (U.S.). The Soviets themselves admitted to direct losses of some $3.6 billion (U.S.). **More recently, however, a member of the Soviet parliament said that some $200 billion rubles ($380 billion Cdn.) would be required over the next 10 years to cope with the consequences of the Chernobyl disaster.**

The immediate health effects of the Chernobyl accident were not difficult to assess. At the time 31 people were reported to have died as a result of the explosion and subsequent release of radioactivity. About 300 or so other people were treated for acute radiation sickness but were later released from hospital. A newspaper article from November 1989, however, noted that the death toll from the accident had already reached 250 people.

As for the long-term health effects of Chernobyl, the picture becomes much more clouded and there is debate over how many people will be affected. The most widely reported estimates vary from 2,000 to 6,500. That is to say that experts expect anywhere from 2,000 to 6,500 extra cancer deaths over the next 50 to 70 years as a result of Chernobyl. Other experts have expressed the fear that this number could be much higher due to the possible contamination of the food chain by caesium 137 and caesium 134. Caesium lodges in tissue and in muscle and delivers a large dose of radiation to those who absorb it. Recent reports of the birth of more than 60 deformed farm animals in the original 30 kilometre exclusion zone and the decision to evacuate another 25 villages just outside this zone have heightened anxiety among those affected. Residents of these villages are being told that they can stay - but only if they eat non-contaminated food brought in from outside the area. Some residents have begun to complain that they are being given medical check-ups but the results are not being passed on to them.

In recent months, Ukranian nationalists and environmental groups have been campaigning vigorously in local elections to make the permanent shut down of Chernobyl an issue. Their efforts seem to have borne fruit since the Ukranian Supreme Soviet has announced that energy production at the Chernobyl site will be phased out entirely over the next five years. It also ordered the government to adopt a policy which would stop any further nuclear power stations from being built in the Ukraine.

D. Recent Issues of Concern

1. Deterioration of Pressure Tubes in CANDU Reactors

In January 1988 a routine inspection of pressure tubes at Unit 3 at the Pickering Generating Station revealed a more rapid deterioration than expected. The tubes in Units 3 and 4 at Pickering and the units at the Bruce Generating Station were constructed of a different metal alloy from that used in earlier CANDU reactors, and it was thought that this new alloy would be more resistant to deterioration.

In March 1988 Ontario Hydro announced that the planned maintenance shutdown of Reactor 3 at Pickering for that year would be

eliminated and retubing of the unit would begin in 1989. It is expected that the retubing will take about 23 months. Retubing of Unit 4 is to begin in 1991 and will take an estimated 19 months. The cost of retubing these 17 and 18 year old reactors will be in the order of $500 million. The problems at Pickering will also result in testing of pressure tubes at the Bruce-1 and Bruce-2 reactors which were both commissioned in 1977.

2. Radiation Accident at Pickering

Three workers were removing radioactive fuel rods from a reactor at Pickering on 9 August 1989 when the connector which they had been instructed to use failed to shield them from radiation. The Atomic Energy Central Board limit for annual full-body radiation is 5 rem, and Ontario Hydro limits exposure to 2 rem/year. The three workers involved in the incident received 12.7 rem (the highest exposure level ever recorded at a Canadian nuclear power plant), 9.2 rem and 2.2 rem. The workers have since been offered new jobs at the training centre near the plant and the two who received the highest exposure have accepted the move.

In February 1990, following an investigation of the incident by the Atomic Energy Control Board, Ontario Hydro was charged under the Atomic Energy Control Act. Hydro faces five charges in all - one count of over-exposure for each worker, one count of failing to take all reasonable precautions to prevent the accident from happening and one count of violation of licence conditions by not getting proper approval of the work before it was begun. The parties will be in court 29 March 1990 to set a trial date.

3. Radioactive Water Spill at Bruce

In January 1990, a computer software error in Unit 4 at the Bruce Generating Station caused a refuelling machine to malfunction. The machine unexpectedly dropped 40 centimetres and damaged the cap on the end of at least one fuel channel, allowing the heavy water to escape. Heavy water continued to leak from the damaged fuel channel at the rate of about seven litres an hour for some days after the accident. Workers are preparing to remove the fuel bundles from the channel and retrieve the

LIBRARY OF PARLIAMENT
BIBLIOTHÈQUE DU PARLEMENT



fuelling machine. No one was injured in the accident and neither workers nor the environment were directly contaminated by the radioactive heavy water. Unit 4 is expected to be out of service for six weeks while repairs are made.

4. The Fermi II Nuclear Plant

In January 1988, the Fermi II Nuclear Plant in Monroe, Michigan was authorized to operate at 100% power for the first time. During the second half of 1987 this reactor had been limited to test runs at between 5% and 75% power because of operating problems and safety concerns. The operation of this boiling-water reactor (which is ten years behind schedule and $4 billion over budget) is still being protested in the United States and in Essex County in Ontario. Protests centre on two issues. First, the operator, Detroit Edison, is said to be in severe financial trouble, and thus, say opponents, unable to operate safely a plant with a ten year history of equipment and construction problems. Canadian protests centre on the lack of adequate emergency preparedness in the event of a serious accident. For example, the City of Windsor, Ontario, would lie in the path of windborn contaminants and yet is not included in any evacuation plans. Concerns over the safety of the plant resulted in Canada's External Affairs Minister's request that the U.S. invite the International Atomic Energy Agency to examine the reactor to determine if it is safe to operate. The U.S. has turned down this request.

5. Fire at Soviet Reactor, September 1988

In early September 1988 one of the graphite-moderated reactors (RBMK reactor) at Ignalina, Lithuania was forced to shut down due to a fire in the control room. Although no radiation was released, the fire, and other operating problems at the plant, have renewed concern in Europe. The Ignalina reactor is of the same design as the reactors at Chernobyl but has been altered to produce 1,500 MW of power rather than the standard 1,000 MW.

## PARLIAMENTARY ACTION

The question of reactor safety <u>per se</u> has not been dealt with by Parliament, which has, however, considered matters relating more generally to the safety of nuclear power development. None of these parliamentary initiatives, which included legislation and committee studies, were successfully concluded.

## CHRONOLOGY

29 February 1980 - The Ontario Royal Commission on Electric Power Planning released its nine-volume final report, terminating an investigation begun on 17 July 1975. A number of recommendations dealt with the safety and reliability of nuclear power generation in Ontario.

June 1980 - The Select Committee on Ontario Hydro Affairs of the Legislative Assembly released its final report on "The Safety of Ontario's Nuclear Reactors".

1 August 1983 - An abrupt pressure tube failure occurred at Pickering-2. This was the first major failure in the primary cooling system of a CANDU reactor. The unit was shut down for retubing.

Aug. - Nov. 1983 - Operating incidents caused reactor shutdown at Pickering-1 (5 August), Pickering-5 (7 August), Douglas Point (4 September), Bruce-3 (4 September), Bruce-2 (21 October), NPD (25 October), Bruce-1 (30 October) and Pickering-5 (1 November). With the exception of NPD, all of these units subsequently returned to service.

14 November 1983 - Pickering-1 was shut down for examination of its pressure tubes for hydrogen buildup.

7 March 1984 - Ontario Hydro announced that Pickering Unit 1 would also undergo a complete retubing.

26 April 1986 - An explosion and fire occurred at the Chernobyl generating station in the USSR, releasing massive amounts of radiation from the reactor core.

25 August 1986 - The International Atomic Energy Agency received and began to review an official Soviet report on the causes and effects of the Chernobyl accident. Gross human negligence was cited as the cause.

September 1986 - Canada signed two international conventions concerning nuclear safety. The first convention provides for early notification and information about nuclear accidents and the second commits signatories to help other nations which suffer a nuclear accident.

November 1986 - Construction of the concrete sarcophagus to entomb the destroyed Unit 4 at Chernobyl was completed.

July 1987 - Six senior officials at the Chernobyl complex were tried and sentenced to terms ranging from 2 to 10 years for violating safety rules and for negligence.

October 1987 - Pickering 2 was returned to service.

1988 - Pickering 1 was returned to service.

April 1988 - A report entitled The Safety of Ontario's Nuclear Power Reactors was completed by Dr. K. Hare.

1990 - Retubing of Pickering 3, which began in 1989, was continuing and expected to take about one more year. Retubing of Pickering 4 will begin in 1991.

SELECTED REFERENCES

"All Zirconium Tubes to be Replaced at Pickering Units 1 and 2". Nuclear Engineering International, Vol. 29, no. 355, May 1984, p. 15-20.

Cruickshank, Andrew. "Putting Policy Into Practice in the United States". Nuclear Engineering International, March 1987, p. 24-28.

Donnelly, W. et al. "The Chernobyl Accident: Causes, Initial Effects and Congressional Response". Major Issue System, Issue Brief #1B86077, Congressional Research Service, Washington, D.C., 16 September 1986.

Lewis, Harold, W. "The Safety of Fission Reactors". Scientific American, Vol. 242, no. 3, March 1980, p. 53-65.

Mynatt, F.R. "Nuclear Reactor Safety Research Since Three Mile Island". Science, Vol. 216, 9 April 1982, p. 131-135.

USSR State Committee on the Utilization of Atomic Energy. The Accident at The Chernobyl Nuclear Power Plant and Its Consequences. Compiled for IAEA Experts Meeting, 25-29 August 1986, Vienna, Part I and II.

Varley, James. "Germans Take A New Look At Core Melt Consequences". Nuclear Engineering International, March 1987, p. 35-38.

Bulletin d'actualité 83-14F

# LA SÉCURITÉ DANS LES CENTRALES NUCLÉAIRES

Lynne C. Myers
Division des sciences et de la technologie

Le 20 octobre 1983
*Révisé le 10 septembre 1990*

Bibliothèque du Parlement
Library of Parliament

Service de recherche

Le Service de recherche de la Bibliothèque du Parlement travaille exclusivement pour le Parlement, effectuant des recherches et fournissant des informations aux parlementaires et aux comités du Sénat et de la Chambre des communes. Entre autres services non partisans, il assure la rédaction de rapports, de documents de travail et de bulletins d'actualité. Les attachés de recherche peuvent en outre donner des consultations dans leurs domaines de compétence.

© Ministre des Approvisionnements et Services Canada 1991
Nº de cat. YM32-1/83-14-1990-09F
ISBN 0-660-93161-3

N.B. Dans ce document, tout changement d'importance fait depuis la dernière publication est indiqué en **caractère gras**.

THIS DOCUMENT IS ALSO PUBLISHED IN ENGLISH

CANADA
LIBRARY OF PARLIAMENT
BIBLIOTHÈQUE DU PARLEMENT

# LA SÉCURITÉ DANS LES CENTRALES NUCLÉAIRES

## DÉFINITION DU SUJET

L'humanité utilise sous diverses formes l'énergie qu'elle puise à différentes sources. Un nombre grandissant de pays, dont le Canada, ont choisi d'ajouter le nucléaire à l'éventail de leurs sources d'énergie. En juin 1989, les 433 réacteurs nucléaires en service dans 25 pays fournissaient plus de 15 p. 100 de la production mondiale d'électricité. En 1988, douze pays ont produit au moins 25 p. 100 de leur électricité dans des centrales nucléaires, la France venant en tête de liste avec une proportion de près de 70 p. 100. La même année, le Canada a produit 16 p. 100 de son électricité dans des centrales nucléaires. Par ailleurs, environ 109 réacteurs nucléaires sont actuellement en construction dans 20 pays, ce qui suffirait à augmenter de 29 p. 100 la capacité de production actuelle. Aucune entreprise humaine ne comporte une garantie totale de sécurité; c'est pourquoi la question de savoir si l'électro-nucléaire fait courir un risque "acceptable" à la société est depuis longtemps vigoureusement débattue.

Jusqu'aux événements de la fin d'avril 1986, la sécurité des centrales nucléaires était bien sûr un sujet préoccupant, mais la question n'était pas alarmante. L'accident survenu à la centrale de Tchernobyl en URSS a irrévocablement changé la situation. La catastrophe a tragiquement ramené la question de la sécurité des centrales nucléaires dans les esprits. Le présent bulletin traite du problème de la sécurité dans les centrales complexes et explique succinctement certains des accidents nucléaires les plus graves survenus à ce jour.

## CONTEXTE ET ANALYSE

### A. La sécurité dans les centrales nucléaires complexes

Il est difficile de déterminer les causes d'une panne dans une centrale complexe, et les accidents survenus récemment dans des réacteurs ont montré que le diagnostic était beaucoup moins sûr qu'on ne le pensait initialement. D'une part, il peut arriver qu'une centrale complexe comporte des erreurs de conception qui créent des problèmes de sécurité, mais d'autre part, il se peut que des erreurs de construction, de vérification de la qualité, d'entretien ou d'exploitation soient en cause.

L'accident survenu en mars 1979 au réacteur de Three Mile Island, en Pennsylvanie, montre que des problèmes mécaniques peuvent être aggravés par l'erreur d'un technicien, ce qui souligne l'importance de l'élément humain parallèlement à celle de la fiabilité du matériel dans la perspective de la sécurité. En effet, le rapport de la Commission présidentielle sur l'accident de Three Mile Island (communément appelé le "rapport Kemeny") s'intéressait davantage aux responsables de la sécurité nucléaire, à savoir les fabricants de matériel, les directeurs des services, les techniciens de la centrale et le personnel de la Nuclear Regulatory Commission (NRC), qu'au besoin d'améliorer la technologie comme telle.

Des accidents peuvent aussi survenir à l'improviste lorsqu'un même incident initial provoque une défaillance simultanée des dispositifs doubles qui sont censés fonctionner de façon indépendante. Par exemple, il est arrivé que des soupapes identiques, installées sur des dispositifs indépendants et soumises aux mêmes conditions, soient tombées simultanément en panne parce qu'elles étaient mal conçues ou mal installées. Un entretien inadéquat peut également provoquer une panne multiple lorsque chacun des dispositifs indépendants a été mal réglé ou mal entretenu. Une panne totalement imprévue peut survenir à cause de la complexité même de la centrale, qui empêche que tous les risques d'accident puissent être détectés.

L'accident de Salem 1, au New Jersey, fournit un exemple de panne imprévue. Lorsqu'une anomalie prévisible, appelée "transitoire", survient dans le fonctionnement du réacteur, un dispositif de sécurité est censé intervenir automatiquement pour arrêter d'urgence le réacteur en interrompant la réaction nucléaire en chaîne. Une panne de ce système de sécurité (connue sous l'appellation technique de "transitoire sans chute de barres") était considérée comme tellement improbable que le risque qu'elle représentait avait auparavant été jugé négligeable. L'industrie nucléaire américaine a estimé qu'il n'y avait pas lieu d'imposer des règlements et des mesures préventives contre ce genre d'incident, étant donné que les systèmes de sécurité de base étaient pratiquement à l'abri des pannes. D'ailleurs, un spécialiste de la sécurité nucléaire a pu affirmer en 1980 que jamais un tel dispositif de sécurité n'avait fait défaut en cas d'urgence(1). Pourtant, un incident de ce genre s'est produit à deux reprises en quatre jours en février 1983 au réacteur Salem 1. Dans les deux cas, les techniciens ont arrêté manuellement le réacteur, afin d'éviter qu'il ne s'endommage, mais ces incidents ont prouvé qu'une panne du système électronique de sécurité n'était pas aussi improbable qu'on l'avait prétendu.

L'enquête faisant suite à l'incident de Salem 1, menée par la Nuclear Regulatory Commission des États-Unis (NRC), a établi qu'un élément critique des dispositifs de chute automatique des barres de sécurité du réacteur était tombé en panne dans les deux circuits d'un système à double redondance. Cet élément, qui doit normalement faire l'objet de deux opérations fonctionnement à la centrale, n'avait pas du tout subi de maintenance depuis son entrée en service, et la NRC a attribué en partie la panne à une accumulation de poussière sur des joints exposés.

L'accident de Tchernobyl, le pire jamais survenu dans une centrale nucléaire, a été causé par une incroyable suite d'erreurs "humaines". Il est également intéressant de noter qu'un article paru dans un journal de Kiev un mois avant l'accident déplorait de graves pénuries de

---

(1) Harold W. Lewis, "The Safety of Fission Reactors", Scientific American, vol. 242, n° 3, mars 1980, p. 59.

matériel, la piètre qualité de la main-d'oeuvre et le moral très bas des employés de la centrale.

Cet accident a suscité un intérêt sans précédent pour la question de la sûreté des centrales nucléaires et a amené l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) à élaborer deux nouvelles conventions internationales engageant leurs signataires (parmi lesquels figure le Canada) à alerter immédiatement les autres pays si un accident nucléaire survient sur leur territoire et à aider tout pays victime d'un tel accident. L'AIEA a également reçu des propositions prévoyant la réglementation internationale de l'énergie nucléaire.

Aux États-Unis, les incidents graves dans les centrales nucléaires sont de plus en plus nombreux, ce qui a amené une commission de la Nuclear Regulatory Commission à faire une prédiction alarmante:

> Vu le niveau actuel de sûreté de l'exploitation des centrales nucléaires aux États-Unis, on peut s'attendre à la fusion du coeur d'un réacteur dans les 20 prochaines années, et il est possible qu'un accident de ce genre entraîne des émissions de rayonnements dans l'atmosphère aussi importantes, sinon plus, que celles qui se seraient produites à Tchernobyl.

Dans plusieurs pays, on s'intéresse davantage à l'étude de la sécurité nucléaire depuis les accidents de Three Mile Island et de Tchernobyl. Aux États-Unis, la Nuclear Regulatory Commission a publié en 1985 une déclaration de principes concernant les accidents graves et elle s'emploie à mettre en oeuvre la nouvelle politique qui a été adoptée. Dans le cadre du nouveau programme, toutes les centrales existantes seront systématiquement examinées pour voir jusqu'à quel point des accidents graves pourraient y survenir; des mesures de sécurité supplémentaires seront proposées au besoin. On élabore en outre actuellement des normes plus claires pour évaluer les risques des futures centrales nucléaires. De plus, on travaille à établir des critères de rendement en matière de confinement.

Le Canada également a procédé à un vaste examen interne de la sécurité de ses centrales nucléaires. En outre, l'Équipe d'examen de la sûreté d'exploitation (OSART) de l'Agence internationale de l'énergie atomique a été invitée à examiner les méthodes d'exploitation de la

centrale de Pickering. À la suite des deux études, il a été conclu que l'utilisation que fait le Canada des réacteurs CANDU est sécuritaire, mais des changements mineurs aux procédures d'exploitation ainsi qu'aux plans d'urgence ont quand même été suggérés.

Pour sa part, l'Allemagne de l'Ouest a mené à terme une vaste étude sur les risques dans les centrales nucléaires. On y affirme que les conséquences d'accidents graves concernant les réacteurs à eau ordinaire d'Allemagne seraient de dix à cent fois moindres que ce qu'on qu'on avait déjà déterminé. Malgré ce résultat très rassurant, les Allemands prévoient installer sur une période de dix-huit mois un nouveau dispositif de sécurité sur tous les réacteurs à eau sous pression. Il s'agit d'un système de filtration qui permettra la dépressurisation contrôlée de l'enceinte de confinement. Cette mesure vise à empêcher que, s'il y a un accident grave, des gaz explosifs s'accumulent dans l'enceinte de confinement, afin d'éviter de mettre en danger la population.

On a appris récemment que la France et l'Allemagne de l'Est se préoccupent de plus en plus de la sécurité de leurs centrales nucléaires. En France, un document rédigé par l'inspecteur-chef de la sécurité nucléaire, et qui a fait l'objet d'une fuite, contredit les chiffres officiels quant à la probabilité d'accidents graves comme celui de Three Mile Island. Selon ce rapport, qui porte sur Électricité de France et la sécurité nucléaire à la fin de 1989, les prédictions antérieures selon lesquelles un accident de ce genre ne peut se produire qu'une fois tous les 100 000 ans comportaient une grande marge d'incertitude. Vu l'état actuel des réacteurs en France, les risques de voir un accident survenir d'ici les 20 prochaines années sont élevés. La possibilité d'une erreur humaine, à l'origine de la catastrophe de Tchernobyl, est la principale source d'appréhension d'un désastre nucléaire. Le document rappelle ensuite que plusieurs "quasi-accidents" passés sous silence en France auraient pu provoquer d'importantes émissions de radioactivité si on n'était pas intervenu à temps pour les arrêter. Un deuxième rapport qui a fait l'objet d'une fuite révèle qu'Électricité de France fait face à un problème de surcapacité nucléaire et à de graves difficultés économiques. L'entreprise devra peut-être bientôt revoir son programme d'expansion du

nucléaire à la lumière de ces deux rapports, d'autant plus qu'ils sont maintenant publics.

En Allemagne de l'Est, un haut responsable du programme d'énergie nucléaire a déclaré s'inquiéter des normes de sécurité des réacteurs vieillissants de son pays et être disposé à fermer ceux-ci si des experts internationaux le lui recommandent. Les deux Allemagnes ont chargé une commission mixte d'examiner les normes de sécurité, et l'Agence internationale de l'énergie atomique a commencé à inspecter les cinq centrales de l'Allemagne de l'Est, qui, selon certains de ses dirigeants, les fermerait immédiatement si on le lui recommandait, même s'il lui était difficile de remplacer l'énergie qu'elles produisent.

B. Sécurité intrinsèque et sécurité technique

La sécurité de la plupart des réacteurs nucléaires commerciaux dépend de systèmes techniques auxiliaires. En cas d'accident, ceux-ci doivent détecter le danger et y réagir en provoquant l'arrêt du réacteur. Il est aussi possible et, à la lumière de l'accident de Tchernobyl, peut-être même essentiel, de concevoir des réacteurs "intrinsèquement" sûrs, dont l'arrêt au cours d'un accident dépendrait uniquement des lois de la physique plutôt que de systèmes auxiliaires et de l'intervention de techniciens. Comme le soulignait un auteur, la sécurité intrinsèque vise à remplacer le principe de Murphy (tout ce qui peut aller mal ira fatalement mal) par les lois de la physique[(2)]. Plusieurs pays ont d'ailleurs mis au point des réacteurs intrinsèquement sûrs, qui serviront à illustrer cette idée.

La Suède a créé un réacteur à eau sous pression appelé PIUS; le système de refroidissement du coeur et tous les échangeurs de chaleur de ce réacteur sont immergés dans une solution de bore qui absorbe les neutrons et freine rapidement la réaction en chaîne productrice de chaleur. Lorsque tout se déroule normalement, la pression générée par la pompe de réfrigérant maintient l'eau borée à l'extérieur du réacteur. Toutefois, si la pompe est défectueuse, la différence de densité entre

---

(2) "Lessons from the Schoolhouse", The Economist, 10 mai 1986, p. 92.

l'eau chaude et l'eau froide entraînera immédiatement le noyage du réacteur par de l'eau borée, la réaction en chaîne étant alors enrayée. Aucune intervention humaine, mécanique ou électrique n'est donc nécessaire pour provoquer l'arrêt du réacteur. La Suède espère qu'elle pourra commencer à vendre ses réacteurs PIUS d'ici à 1990.

De son côté, l'Allemagne de l'Ouest a conçu un réacteur à haute température à réfrigérant gazeux (baptisé le THTR 300) doté d'éléments combustibles ronds de la grosseur de balles de tennis. Ces éléments combustibles sont en mouvement: toutes les huit secondes, l'un d'eux s'échappe du coeur et un autre est introduit par le dessus. À cause de la grosseur des éléments combustibles et du rapport entre leur superficie et leur volume, il est impossible que la température dans le coeur du réacteur dépasse 1 600°C. D'après les concepteurs, le réacteur pourrait perdre tout son fluide de refroidissement (hélium) sans pour autant devenir assez chaud pour libérer des produits de fission.

Plusieurs réacteurs actuellement mis au point aux États-Unis, comme le réacteur surgénérateur PRISM de General Electric, le réacteur SAFR de Rockwell et le réacteur MHTGR du département de l'Énergie (réacteur modulaire à haute température refroidi au gaz), sont dotés de mécanismes d'arrêt automatique qui n'exigent aucune intervention mécanique, électrique ou humaine. Depuis l'accident de Tchernobyl, ces réacteurs sont plus intéressants que jamais. Aux États-Unis, en fait, les observateurs sont d'avis que seule l'adoption de ces réacteurs va permettre d'y faire accepter de nouveau le nucléaire comme autre source d'énergie viable.

## C. L'accident de Tchernobyl

Le 26 avril 1986, la ville de Tchernobyl, située à 60 milles au nord de Kiev, la capitale de l'Ukraine, a été le théâtre du pire accident qui soit jamais survenu dans une centrale nucléaire. Une série d'erreurs humaines, jointe à ce que certains experts occidentaux croient être des vices majeurs de conception, a entraîné une prodigieuse explosion et un violent incendie dans le coeur même du réacteur. L'explosion a tué sur le coup deux techniciens qui se trouvaient sur les lieux et libéré dans l'atmosphère une très grande quantité de matières radioactives. Ce

dégagement sans précédent de produits de fission dangereux provenant du coeur du réacteur a rendu nécessaire l'évacuation de dizaines de milliers de personnes et contaminé une riche région agricole sur une étendue d'environ 300 kilomètres carrés. Les radiations ont franchi les frontières internationales, contaminant les aliments et suscitant une vive inquiétude quant à leurs effets à long terme sur la santé et l'environnement.

Lors d'une réunion spéciale de l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) tenue à Vienne le 25 août 1986, l'Union soviétique a fait un rapport circonstancié sur les causes de la catastrophe de Tchernobyl. L'ironie du sort a voulu que l'accident, le plus grave qui soit survenu dans un réacteur nucléaire, se soit produit au cours d'un essai de sécurité. Apparemment, les techniciens essayaient de déterminer combien de temps les turbines de la génératrice continueraient de tourner par inertie, en cas d'arrêt imprévu du réacteur; en faisant l'expérience, ils ont commis au moins six erreurs graves, notamment celle de fermer tous les systèmes de sûreté automatiques du réacteur pour éviter qu'ils ne faussent les résultats.

Les événements ont commencé le 25 avril, lorsqu'on a réduit la puissance du réacteur. Comme des systèmes de contrôle automatiques étaient en place pour l'empêcher de fonctionner à un régime aussi bas, les techniciens les ont fermés, neutralisant ainsi l'un des dispositifs conçus pour empêcher le réacteur de devenir incontrôlable. La puissance est alors tombée trop bas pour les besoins de l'expérience, et c'est en essayant de la ramener au niveau requis que les techniciens ont commis la deuxième erreur fatale. Pour régulariser et contrôler la réaction en chaîne dans un réacteur, on se sert de barres de commande. Un réacteur modéré au graphite et refroidi à l'eau ordinaire (RBMK, en russe) doit en contenir au moins trente en tout temps, mais les techniciens de Tchernobyl n'en ont laissé que six ou huit. Ils ont également débranché pour l'expérience un deuxième système de sécurité qui aurait automatiquement fermé le réacteur dès l'arrêt des turbines, ce qui a aggravé le problème.

L'essai proprement dit a débuté à 1 h 23 le 26 avril, lorsqu'on a coupé l'alimentation des turbines. Juste avant, on avait réduit l'arrivée de l'eau servant à refroidir le réacteur et débranché les

dispositifs de sécurité permettant de l'arrêter en cas d'anomalie de la pression de vapeur ou du niveau d'eau. Cette dernière manoeuvre a causé une dangereuse surchauffe du réacteur, mais parce que le système de refroidissement d'urgence avait été fermé douze heures auparavant, on ne pouvait plus empêcher la température de monter. Quelques secondes après, la surintensité énorme a provoqué deux explosions qui ont fait voler le toit du bâtiment du réacteur et allumé plus de trente incendies autour de la centrale. Le coeur endommagé du réacteur et le modérateur en graphite qui l'entourait se sont mis à brûler à des températures atteignant 1 600°C. L'incendie a fait rage pendant douze jours, libérant dans l'atmosphère des quantités phénoménales de radiations.

Nous ignorons encore l'ampleur exacte de l'émission radioactive, mais de nombreuses estimations ont été faites. Selon une hypothèse américaine, au moins 40 millions de curies de radioactivité auraient été dégagés, ce qui se rapproche de l'estimation de 50 millions de curies avancée par les Soviétiques dans leur rapport à l'AIEA. Cela représente environ 3,5 p. 100 de la radioactivité du coeur du réacteur. (En comparaison, lors de l'accident de Three Mile Island, seulement 15 curies d'iode 131 ont été dégagés dans l'atmosphère.) Il est difficile de comparer ce rayonnement à celui des bombes d'Hiroshima ou de Nagasaki, parce que les produits de fission nucléaire n'étaient pas les mêmes, mais d'après un expert en physique radiative, le rayonnement à Tchernobyl était, grosso modo, de 30 à 40 fois plus puissant que celui des bombes de 1945.

La presque totalité des retombées radioactives s'est abattue sur la centrale ainsi que sur les agglomérations et les exploitations agricoles des environs, mais les vents en ont poussé une partie vers plusieurs pays voisins, notamment la Suède, la Pologne, la Roumanie, la Suisse, l'Allemagne de l'Ouest et la Yougoslavie. Les niveaux d'irradiation y ont, pendant un certain temps, été de plusieurs fois supérieurs aux niveaux normaux. Dans la ville de Tchernobyl, à 12 milles du lieu de l'accident, on a relevé un niveau d'irradiation maximal de 15 millirems par heure, alors que dans la plupart des régions du monde, le fond naturel de rayonnement est d'environ 0,01 millirem par heure.

Sur le plan économique, l'accident a été catastrophique pour l'Union soviétique. Outre ce que lui coûtera la réinstallation de 135 000 personnes, elle doit assumer des pertes de 1,9 milliard de dollars pour les dommages causés à la centrale elle-même et acquitter une facture de plusieurs centaines de millions de dollars pour la décontamination; elle a en outre perdu 10 p. 100 de sa capacité de produire de l'énergie nucléaire, qu'elle est en train de remplacer par de l'électricité plus coûteuse provenant de centrales alimentées au charbon. Cette perte de production d'électricité est tellement importante que, le 1er octobre 1986, on a remis en service les unités nos 1 et 2 de la centrale de Tchernobyl et que l'unité no 3, qui partageait une salle de commande et un groupe électrogène avec l'unité détruite durant l'accident, a été remise en service au début de 1988. Ces mesures inquiètent beaucoup les spécialistes occidentaux, mais la pénurie d'électricité est apparemment telle que les Soviétiques n'ont pas le choix. Le pays devra en outre engager des frais pour améliorer les normes de sécurité de tous ses réacteurs RBMK, notamment en augmentant le nombre d'absorbeurs, en utilisant du combustible plus enrichi, en modifiant les barres de commande et en se protégeant mieux contre l'erreur humaine aux premiers stades d'un accident (grâce à une automatisation accrue).

L'Union soviétique a également subi des pertes sur le plan de la production agricole et pourrait être privée de précieuses terres arables. Par exemple, la Biélorussie, république voisine, a perdu 20 p. 100 de ses terres agricoles à cause du désastre. Selon une étude américaine réalisée peu après la catastrophe, l'accident de Tchernobyl coûtera au total entre 3,7 et 6 milliards de dollars américains à l'Union soviétique. Cette dernière reconnaît elle-même avoir subi des pertes directes de l'ordre de 3,6 milliards de dollars américains. Un parlementaire soviétique a toutefois déclaré récemment qu'il faudra environ 200 milliards de roubles (380 milliards de dollars canadiens) au cours de la prochaine décennie pour résorber les conséquences de Tchernobyl.

Il n'est pas difficile d'évaluer les répercussions immédiates de l'accident de Tchernobyl sur la santé. L'explosion et le dégagement de radioactivité subséquent ont fait 31 morts et quelque 300

personnes ont été traitées pour avoir été gravement atteintes par les radiations mais sont toutes sorties de l'hôpital. Un article de journal de novembre 1989 rapportait toutefois que le nombre de décès causés par l'accident atteignait déjà 250.

Si l'on examine les répercussions que l'accident de Tchernobyl aura à long terme sur la santé, le tableau devient beaucoup plus sombre, et l'on ne s'entend pas sur le nombre de personnes qui seront touchées. Les chiffres les plus fréquemment mentionnés varient entre 2 000 et 6 500. En d'autres termes, les spécialistes prévoient qu'il y aura de 2 000 à 6 500 décès supplémentaires attribuables au cancer au cours des 50 à 70 prochaines années par suite de l'accident de Tchernobyl. D'autres spécialistes craignent que le bilan ne soit beaucoup plus élevé, en raison du risque de contamination de la chaîne alimentaire par le césium 137 et le césium 134. Ces isotopes du césium se logent dans les tissus et les muscles, et l'on constate des doses d'irradiation élevées chez ceux qui en absorbent. On a récemment signalé que plus de 60 animaux de ferme sont nés avec des malformations dans la zone interdite de 30 kilomètres délimitée à l'origine et on a décidé d'évacuer 25 autres villages juste à l'extérieur de cette zone, ce qui a accru l'inquiétude de la population. Les résidents des villages peuvent rester chez eux à condition de ne manger que des aliments non contaminés provenant de l'extérieur de la zone interdite. Certains ont commencé à se plaindre qu'ils ne sont pas mis au courant des résultats des examens médicaux qu'on leur fait subir.

Au cours des derniers mois, des nationalistes et environnementalistes ukrainiens ont mené une campagne vigoureuse dans le cadre d'élections locales en faveur de la fermeture permanente de Tchernobyl. Leurs efforts semblent avoir porté fruit, puisque le Soviet suprême de l'Ukraine a annoncé que la production d'énergie à Tchernobyl sera progressivement éliminée au cours des cinq prochaines années. Il a également ordonné au gouvernement d'adopter une politique qui interdirait la construction de toute nouvelle centrale électronucléaire en Ukraine.

## D. Nouveaux faits troublants

### 1. Détérioration des tubes de force dans les réacteurs CANDU

En janvier 1988, une inspection de routine des tubes de force de l'unité 3 de la centrale électronucléaire de Pickering a révélé un degré de détérioration plus avancé que celui auquel on s'y attendait. Les tubes des unités 3 et 4 de la centrale de Pickering et des unités de la centrale électronucléaire de Bruce sont faits d'un alliage différent de celui qui a servi à la fabrication des tubes des premiers réacteurs CANDU, et on avait cru que le nouvel alliage résisterait mieux à la détérioration.

En mars 1988, l'Ontario Hydro a annoncé que contrairement à ce qui était prévu, l'on ne fermerait pas cette année, à des fins d'entretien, le réacteur 3 de Pickering, dont l'on commencerait à remplacer les tubes de force en 1989. Cette opération devrait prendre quelque 23 mois. Le remplacement des tubes de l'unité 4 devrait débuter en 1991 et prendre environ 19 mois. Le remplacement des tubes de ces réacteurs vieux de 17 et 18 ans coûtera environ 500 millions de dollars. Étant donné les problèmes qui se posent à Pickering, il faudra également vérifier les tubes de force des réacteurs Bruce 1 et Bruce 2, qui ont été mis en service en 1977.

### 2. Accident d'irradiation à Pickering

Trois travailleurs qui enlevaient des barres de combustible radioactives d'un réacteur de Pickering le 9 août 1989, ont reçu des doses de 12,7 rem (le plus haut niveau d'exposition jamais enregistré dans une centrale électronucléaire canadienne), de 9,2 rem et de 2,2 rem parce que le château de transfert qu'on leur avait dit d'utiliser ne les a pas protégés du rayonnement. La Commission de contrôle de l'énergie atomique a établi à 5 rem (corps entier) la dose annuelle limite de rayonnement, et la limite fixée par Hydro-Ontario est de 2 rem par année. On a depuis offert à ces travailleurs de nouveaux postes au centre de formation près de la centrale et deux d'entre eux, ceux qui ont reçu les doses les plus fortes, ont accepté.

En février 1990, à la suite d'une enquête menée par la Commission de contrôle de l'énergie atomique, Ontario Hydro a été inculpée en vertu de la Loi sur le contrôle de l'énergie atomique. Ontario Hydro fait face à cinq chefs d'accusation: une accusation de surexposition dans le cas de chacun des travailleurs, une pour avoir négligé de prendre toutes les précautions raisonnables pour empêcher l'accident de se produire et une autre pour avoir enfreint les conditions de sa licence en ne faisant pas approuver au préalable les travaux. Les parties devaient comparaître en cour le 29 mars 1990 et la date du procès devait alors être fixée.

3. Fuite d'eau radioactive à la centrale de Bruce

En janvier 1990, une erreur de logiciel à l'unité 4 de la centrale électronucléaire de Bruce a entraîné une défaillance de la machine de chargement. La machine est tombée de 40 centimètres tout à coup et le bouchon d'au moins un canal de combustible a été endommagé, entraînant une fuite d'eau lourde. L'eau lourde a continué à couler au rythme d'environ 7 litres à l'heure pendant quelques jours après l'accident. Les travailleurs s'apprêtent à enlever les grappes de combustible du canal et à récupérer la machine de chargement. Personne n'a été blessé et ni les travailleurs ni l'environnement n'ont été directement contaminés par l'eau lourde radioactive. L'unité 4 devrait être hors d'usage pendant six semaines, le temps de faire les réparations nécessaires.

4. La centrale électronucléaire Fermi II

En janvier 1988, on a pour la première fois autorisé le fonctionnement à pleine capacité de la centrale électronucléaire Fermi II, à Monroe, dans l'État du Michigan. Au cours du second semestre de 1987, on n'avait soumis ce réacteur qu'à des essais de fonctionnement à un régime variant de 5 à 75 p. 100 de sa capacité, en raison de problèmes techniques et de doutes quant à sa sûreté. L'exploitation de ce réacteur à eau bouillante (dont la construction accuse un retard de dix ans et dont le devis est dépassé de 4 milliards de dollars) fait toujours l'objet de protestations aux États-Unis et dans le comté d'Essex, en Ontario. Ces protestations tiennent à deux choses. Premièrement, la rumeur veut que

l'exploitant, Detroit Edison, éprouve de graves difficultés financières: aux dires des protestataires, il serait donc incapable d'assurer le fonctionnement sûr d'une usine où l'on ne connaît depuis dix ans que défectuosités techniques et problèmes de construction. Pour leur part, les adversaires canadiens de la centrale s'opposent à son exploitation parce qu'aucune mesure d'urgence adéquate n'est prévue dans l'éventualité d'un accident grave. Par exemple, aucun plan d'évacuation n'a été établi à l'égard de la population de Windsor, en Ontario, qui se trouve pourtant sur le trajet des contaminants aéroportés. Devant ces préoccupations quant à la sécurité de la centrale, le ministère des Affaires extérieures du Canada a prié les États-Unis d'inviter l'Agence internationale de l'énergie atomique à déterminer si l'exploitation du réacteur comportait des dangers. Les États-Unis ont refusé d'accéder à cette requête.

5. Incendie dans une centrale soviétique, septembre 1988

Au début de septembre 1988, un réacteur RBMK modéré au graphite de la centrale d'Ignalina, en Lithuanie, a dû être fermé à la suite d'un incendie dans la salle de contrôle. S'il n'y a pas eu de dégagement de rayonnements, l'incendie et d'autres difficultés d'exploitation à cette centrale ont ravivé des inquiétudes en Europe. Le réacteur d'Ignalina est une version modifiée du type de réacteur utilisé à Tchernobyl dont la capacité a été portée de 1 000 MW à 1 500 MW.

## MESURES PARLEMENTAIRES

Si le Parlement n'a pas abordé la question proprement dite de la sécurité des réacteurs, il a néanmoins étudié des questions associées plus généralement à la sûreté de l'énergie nucléaire. Aucune de ces initiatives, qui comprenaient des études de propositions de lois et des études en comité, n'a abouti.

CHRONOLOGIE

29 février 1980 - La Commission royale de l'Ontario sur la planification de l'énergie électrique publie les neuf volumes de son rapport final, mettant ainsi fin à l'enquête commencée le 17 juillet 1975. De nombreuses recommandations traitent de la sécurité et de la fiabilité du système électro-nucléaire en Ontario.

juin 1980 - Le Comité spécial de l'assemblée législative sur les affaires de l'Ontario Hydro publie son rapport final intitulé The Safety of Ontario's Nuclear Reactors.

1er août 1983 - Une défaillance d'un tube de force se produit au réacteur 2 de Pickering. Il s'agit de la première défaillance importante du système primaire de refroidissement d'un réacteur CANDU. Ce réacteur est mis hors service pour le remplacement des tubes.

août-novembre 1983 - Des incidents survenus dans le cours de l'exploitation entraînent la mise à l'arrêt des réacteurs Pickering 1 (le 5 août), Pickering 5 (le 7 août), Douglas Point et Bruce 3 (le 4 septembre), Bruce 2 (le 21 octobre), NPD (le 25 octobre), Bruce 1 (le 30 octobre) et Pickering 5 (le 1er novembre). À l'exception de la centrale NPD, tous les réacteurs sont par la suite remis en service.

14 novembre 1983 - On arrête le réacteur Pickering 1 pour vérifier l'accumulation d'hydrogène dans les tubes de force.

7 mars 1984 - L'Ontario Hydro annonce que tous les tubes de force de l'unité 1 de Pickering seront remplacés.

26 avril 1986 - L'explosion et l'incendie survenus à la centrale nucléaire de Tchernobyl en URSS libèrent des quantités massives d'éléments radioactifs provenant du coeur du réacteur.

25 août 1986 - L'Agence internationale de l'énergie atomique reçoit le rapport officiel de l'Union soviétique sur les causes et les effets de l'accident de Tchernobyl et en entame l'étude. Selon le rapport, de graves négligences humaines ont causé l'accident.

septembre 1986 - Le Canada signe deux conventions internationales sur la sûreté nucléaire. En vertu de la première, il s'engage à signaler rapidement tout accident nucléaire et à fournir des informations à ce sujet; aux termes de la seconde, il promet assistance à tout pays victime d'un accident nucléaire.

novembre 1986 - Fin de la construction du sarcophage de béton qui renferme ce qui reste du réacteur 4 détruit lors de l'accident de Tchernobyl.

juillet 1987 - Jugement et condamnation à des peines s'échelonnant de 20 à 10 ans de six cadres supérieurs du complexe de Tchernobyl, pour violation des règles de sécurité et pour négligence.

octobre 1987 - Remise en service du réacteur Pickering 2.

1988 - Remise en service du réacteur Pickering 1.

avril 1988 - M. K. Hare publie un rapport intitulé The Safety of Ontario's Nuclear Power Reactors (La sécurité des centrales nucléaires de l'Ontario).

1990 - Le remplacement des tubes de force du réacteur Pickering 3, entrepris en 1989, se poursuit et les travaux devraient durer encore un an. Le remplacement des tubes de Pickering 4 commencera en 1991.

## BIBLIOGRAPHIE SÉLECTIVE

"All Zirconium Tubes to be Replaced at Pickering Units 1 and 2". Nuclear Engineering International, vol. 29, n° 355, mai 1984, p. 15-20.

Comité d'État de l'URSS sur l'utilisation de l'énergie atomique. L'accident survenu à la centrale nucléaire de Tchernobyl et ses conséquences. Documentation établie pour la réunion d'experts de l'AIEA tenue à Vienne du 25 au 29 août 1986, parties I et II.

Cruickshank, Andrew. "Putting Policy Into Practice in the United States". Nuclear Engineering International, mars 1987, p. 24-28.

Donnelly, W. et al., The Chernobyl Accident: Causes, Initial Effects and Congressional Response. Major Issue System, Issue Brief #IB86077. Washington, D.C., Service de recherche du Congrès, 16 septembre 1986.

Lewis, Harold, W. "The Safety of Fission Reactors". Scientific American, vol. 242, n° 3, mars 1980, p. 53-65.

Mynatt, F.R. "Nuclear Reactor Safety Research Since Three Mile Island". Science, vol. 216, 9 avril 1982, p. 131-135.

Varley, James. "Germans Take a New Look at Core Melt Consequences". Nuclear Engineering International, mars 1987, p. 35-38.